

TD. N°1. Thermodynamique.
Filière: SMA-SMPC. S1

Quelques ouvrages à consulter.

M. Bertin, J.P. Faroux, J. Renault. *Cours de Physique. Thermodynamique*. Dunod Université.
J. Boutigny. *Cours de Physique. Thermodynamique*. Vuibert.
G. Bruhat. *Cours de Physique Générale. Thermodynamique*. Masson.
Polycopié (Département de Physique). *Cours de Thermodynamique*.

A - Outils mathématiques

Exercice 1. Dérivées partielles.

Soit f la fonction des variables réelles x et y définie par $f(x, y) = x^2y - y^3$.

1) Calculer $f(\alpha x, \alpha y)$ où α est un nombre réel.

2) Calculer les dérivées partielles du *premier ordre* de la fonction f .

3) Calculer l'expression : $x \cdot \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)_y + y \cdot \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)_x$

4) En déduire l'énoncé général du théorème d'Euler relative à une fonction homogène de degrés n .

Exercice 2. Primitive d'une forme différentielle totale exacte.

On considère la forme différentielle, $\delta w = y \sin x dx - \cos x dy$. Montrer que cette forme différentielle est *totale exacte* et déterminer sa *primitive*.

Exercice 3. Fonction d'état.

On considère la fonction $S(T, P)$ des variables indépendantes T et P dont les dérivées partielles du premier ordre sont :

$$\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P = \frac{7}{2} \frac{R}{T} \quad \text{et} \quad \left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_T = -\frac{R}{P}$$

où R est une constante. Montrer que S est une fonction d'état. Donner son expression en fonction des variables T et P .

Exercice 4. Gaz parfait. Gaz réel. Equations d'état.

I - Gaz parfait. Un gaz parfait est un système dont l'équation d'état est $PV = nRT$ où n est le nombre de moles du gaz et R la constante des gaz parfaits.

1. Montrer que :

$$\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_V = -1$$

En déduire une relation entre les coefficients thermoélastiques α , β et χ_T définis par :

$$\alpha = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P, \beta = \frac{1}{P} \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V \quad \text{et} \quad \chi_T = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T$$

2. Donner les unités de ces coefficients et déterminer leurs expressions pour le gaz parfait.

II - Gaz réel. Un gaz de Van der Waals caractérisé par les constantes a et b est un gaz réel dont l'équation d'état d'une mole de ce gaz est :

$$\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT$$

Dans cette équation V représente le *volume molaire* et son unité est ainsi m^3/mol .

1. Donner les unités des constantes a et b .
2. Ecrire cette équation lorsque le nombre de moles est n .
3. Déterminer le coefficient β d'un tel gaz et le comparer à celui d'un gaz parfait.

Exercice 5. Intégrale d'une forme différentielle.

1. Diagramme (P , V). En Thermodynamique on utilise le plan (P , V) où la variable V est l'*abscisse* et la variable P est l'*ordonnée*. Chaque *point* de ce diagramme représente un *état d'équilibre* du système. Une transformation *réversible* du système entre deux états d'équilibre est une *courbe* d'équation $P = P(V)$. Représenter dans ce diagramme les courbes suivantes :

1.1. AM d'équation $V = \text{const.}$ (On suppose que $P_A > P_M$).

1.2 MB d'équation $P = \text{const.}$ (On suppose que $V_B > V_M$).

1.3. AB d'équation $PV = \text{const.}$

2. Le travail des forces de pression échangé par un système avec son milieu extérieur au cours d'une transformation réversible infinitésimale est donné par $\delta W = -PdV$. Déterminer le travail échangé par le système lorsque le système passe de l'état A à l'état B :

2.1. En passant par M, suivant AM puis MB.

2.2. En suivant la courbe d'équation $PV = \text{const.}$

2.3. Comparer ces deux travaux. Conclure.

3. Donner une interprétation géométrique du travail dans le diagramme (P , V). Conclure.

B – Concepts et Définitions

Exercice 1. Grandeurs extensives et intensives.

Dresser un tableau où seront groupées les grandeurs extensives et les grandeurs intensives parmi les grandeurs suivantes : Le volume, la pression, la température, la masse volumique, l'énergie, la quantité de mouvement, la charge électrique.

Exercice 2. Etats d'équilibre.

Identifier parmi les systèmes suivants ceux qui sont en équilibre thermodynamique. Décrire l'évolution de ceux qui ne le sont pas.

1. Un système *composé* de deux blocs en cuivre identiques à des températures différentes.
2. Un *mélange* d'eau liquide et de glace à la température de 0°C et sous la pression atmosphérique :
 - L'air ambiant est à 0°C
 - L'air ambiant est à 25°C .

Exercice 3. Transformations réversibles et transformations irréversibles.

Déterminer, en justifiant la réponse, les transformations réversibles parmi les suivantes :

1. Ressort subissant lentement des allongements faibles ;
2. Ressort subissant lentement des allongements très grands ;
3. Deux blocs en cuivre, l'un chaud et l'autre froid ;
4. Une boîte divisée en deux compartiments séparés par une cloison. L'un contient un gaz, l'autre est vide. Que se passe-t-il lorsqu'on supprime la cloison entre les compartiments?

Exercice 4. Transformations réversibles d'un gaz parfait.

On considère un gaz parfait comprenant n moles d'équation $PV = nRT$.

1. Préciser le *domaine de validité* de cette équation. Est-elle valable quand le gaz est hors équilibre?
2. Représenter dans le diagramme de Clapeyron un *cycle* décrit par un gaz parfait constitué des transformations réversibles suivantes : $A \rightarrow B$, une détente isobare, $B \rightarrow C$, une détente isochore et $C \rightarrow A$, une compression isotherme.